

Beschreibung

Verfahren und Schaltung zur Crestfaktor-Reduzierung

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Schaltung zur Crestfaktor-Reduzierung eines zu sendenden Datensymbols in einem Mehrträger-Datenübertragungssystem, bei dem das zu sendende Datensymbol eine Funktion einer Vielzahl von innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalls vorgesehener Signale ist
10 und jedes dieser Signale einem Träger zugeordnet ist, wobei jeder Träger jeweils mindestens eine Frequenz aus einem Sendedatenspektrum belegt, wobei zumindest ein Träger reserviert ist, der nicht oder zumindest nicht in vollem Umfang für die Datenübertragung vorgesehen ist.

15 In der modernen Telekommunikation spielt die hochbitratige Datenübertragung auf einer Teilnehmerleitung eine zunehmend größere Rolle, insbesondere deshalb, da man sich von ihr eine größer nutzbare Bandbreite der zu übertragenden Daten kombiniert mit einer bidirektionalen Datenkommunikation ver-
20 spricht.

Eine Technik, die in jüngster Zeit immer mehr an Bedeutung gewinnt, ist die sogenannte Mehrträger-Datenübertragung, die
25 auch als "Multi-Carrier"-Übertragung, als „Discrete Multitone (DMT)“ Übertragung oder als „Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)“ Übertragung bekannt ist. Eine solche Datenübertragung wird beispielsweise bei leitergebundenen Systemen, aber auch im Funkbereich, für Broadcast-Systeme und
30 für den Zugang zu Datennetzen verwendet. Solche Systeme zur Übertragung von Daten mit Mehrträgerübertragung verwenden eine Vielzahl von Trägerfrequenzen, wobei für die Datenübertragung der zu übertragende Datenstrom in viele parallele Teilströme zerlegt wird, welche im Frequenzmultiplex unabhängig
35 voneinander übertragen werden. Diese Teilströme werden auch als Einzelträger bezeichnet.

Ein Vertreter der Mehrträger-Datenübertragung ist die ADSL-Technik, wobei ADSL für „Asymmetric Digital Subscriber Line“ steht. Mit ADSL ist eine Technik bezeichnet, die die Übertragung eines hochbitratigen Bitstromes von einer Zentrale zum Teilnehmer und eines niederbitratigen, vom Teilnehmer zu einer Zentrale führenden Bitstromes erlaubt. Bei dieser Technik wird die Telekommunikationsleitung in zumindest einen Kanal für herkömmliche Telefondienste (also Sprachübertragung) und mindestens einen weiteren Kanal für die Datenübertragung unterteilt.

Wenngleich bereits sehr viele Probleme bei solchen Mehrträger-Datenübertragungssystemen wie ADSL gelöst sind, bleiben immer noch einige Probleme ungelöst.

Ein mit dieser Mehrträger-Datenübertragung einher gehendes Problem ergibt sich dadurch, dass infolge der Überlagerung sehr vieler Einzelträger sich diese kurzzeitig zu sehr hohen Spitzenwerten im Sendesignal aufaddieren können. Das Verhältnis von Spitzenwert zu Effektivwert wird als Crestfaktor, sein Quadrat als PAR (Peak to Average Ratio) bezeichnet. Speziell bei Mehrträgersystemen wie ADSL kann der Crestfaktor sehr groß - zum Beispiel größer als 6 - werden. Auch wenn diese Spitzenwerte in der sich daraus ergebenden Amplitude sehr selten und typischerweise nur für sehr kurze Zeitdauern vorhanden sind, stellen sie einen großen Nachteil der Mehrträger-Datenübertragung dar.

Ein großer Crestfaktor verursacht verschiedene Probleme im Gesamtsystem der Datenübertragung:

Die maximal mögliche Aussteuerung der Digital/Analog-Wandler und der analogen Schaltungsteile, zum Beispiel Filter und Leitungstreiber, müssen in ihrem Aussteuerbereich und ihrer Dynamik bzw. Auflösung für die maximal vorkommenden Spitzenwerte ausgelegt sein. Das bedeutet, diese Schaltungsteile müssen wesentlich größer dimensioniert sein, als die effekti-

ve Aussteuerung. Dies geht mit einer entsprechend hohen Betriebsspannung einher, was unmittelbar auch zu einer hohen Verlustleistung führt. Speziell bei Leistungstreibern, die im Allgemeinen eine nicht zu vernachlässigende Nichtlinearität aufweisen, führt dies zu einer Verzerrung des zu sendenden Signals.

Ein weiteres Problem der Datenübertragung bei hohen Crestfaktoren besteht darin, dass ein sehr hoher Spitzenwert im Sendesignal die maximal mögliche Aussteuerung überschreiten kann. In diesem Falle setzt eine Begrenzung des Sendesignals ein - man spricht hier von einem Clipping. In diesen Fällen repräsentiert das Sendesignal aber nicht mehr die ursprüngliche Sendesignalfolge, so dass es zu Übertragungsfehlern kommt.

Aus diesem Grunde besteht bei Mehrträger-Datenübertragungssystemen der Bedarf, solche Spitzenwerte weitestgehend zu unterdrücken oder zu vermeiden. Dieses Problem ist in der Literatur unter dem Begriff Crestfaktor-Reduzierung oder auch PAR-Reduzierung bekannt. Es existieren hier mehrere Lösungsansätze zur Reduzierung des Crestfaktors:

Bei einem bekannten Verfahren werden einige Träger oder Trägerfrequenzen aus dem Mehrträger-Datenübertragungssystem reserviert (typischerweise etwa 5% des Spektrums). Aus diesen reservierten Trägern wird eine Funktion im Zeitbereich mit möglichst hohem, zeitlich schmalem Spitzenwert erzeugt, die das Korrektursignal bzw. den sogenannten Kernel bildet. Iterativ wird dieser Kernel, der lediglich die reservierten Träger belegt, mit einem Amplitudenfaktor gewichtet, der proportional der Differenz von maximalem Spitzenwert und gewünschtem Maximalwert ist, und im Zeitbereich vom Sendesignal subtrahiert. Dabei wird der Kernel an die Stelle des entsprechenden Spitzenwertes des Sendesignals, der für den überhöhten Crestfaktor verantwortlich ist, zyklisch verschoben. Der Verschiebungssatz der DFT-Transformation stellt sicher, dass

auch nach der Verschiebung nur die reservierten Träger belegt werden.

In der internationalen Patentanmeldung WO 03/026240 A2 ist
5 ein auf dem vorstehend beschriebenen Verfahren aufbauendes
Verfahren beschrieben, bei dem Spitzenwerte im zu sendenden
Zeitsignal, die für einen zu hohen Crestfaktor verantwortlich
sind, durch iterative Berechnung des Korrektursignals redu-
ziert werden. Dabei findet eine Überabtastung des Eingangs-
10 signals sowie eine Modellierung der der Schaltung zur
Crestfaktor-Reduzierung nachgeschalteten Filter bzw. Filter-
kette statt, um dadurch eine hohe Qualität der Datenübertra-
gung und damit eine optimale Crestfaktor-Reduzierung zu ge-
währleisten.

15 Die oben beschriebenen Verfahren bauen auf der Existenz, Ma-
nipulation und iterativer Anwendung von Korrektursignalen im
Zeitbereich - den sogenannten Kernels - auf. Diese im Zeitbe-
reich arbeitenden Verfahren sind durch ihre Schnelligkeit und
20 geringe Komplexität gekennzeichnet.

Nachteilig an den eben beschriebenen Verfahren ist einer-
seits, dass aus dem Datenspektrum einige Träger reserviert
werden müssen, die zur Herstellung des Korrektursignals (Ker-
25 nels) verwendet werden und die somit nicht mehr für die Da-
tenübertragung zur Verfügung stehen. Die Datenübertragungsra-
te eines derartigen Multiträger-Datenübertragungssystems und
damit auch seine Leistungsfähigkeit sinkt daher abhängig von
der Anzahl der reservierten Träger.

30 Darüber hinaus ist für eine hohe Qualität der Datenübertra-
gung und somit für eine möglichst gute Crestfaktor-
Reduzierung eine iterative Modifikation des zu sendenden Da-
tensignals durch ein Korrektursignal erforderlich, was die
35 Komplexität der Schaltung zur Crestfaktor-Reduzierung bzw.
des entsprechenden Verfahrens erhöht.

Mithin besteht bei einigen Anwendungen auch der Bedarf, ein alternatives, insbesondere nicht im Zeitbereich arbeitendes Verfahren anzugeben.

- 5 Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren und eine Schaltung zur Crestfaktor-Reduzierung bereitzustellen, bei denen die Crestfaktor-Reduzierung nicht im Zeitbereich vorgenommen wird.
- 10 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie eine Schaltung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 10 gelöst.

Die der vorliegenden Erfindung zugrunde liegende Idee besteht
15 darin, dass die Erzeugung eines Korrektursignals zur Crestfaktor-Reduzierung eines zu sendenden Datensignals nicht notwendigerweise im Zeitbereich erfolgen muss. Vielmehr kann das Korrektursignal auch im Frequenzbereich erzeugt werden bzw. die Manipulation des zu sendenden Datensignals kann im
20 Frequenzbereich erfolgen. Dies ist für viele Anwendungen von Vorteil.

Dazu wird ein zu sendendes Datensymbol mittels inverser Fouriertransformation (IFFT) transformiert. Dieses zu sendende
25 Datensymbol besteht aus einer Vielzahl von Trägerfrequenzen, von denen einige für die Bildung des Korrektursignals reserviert und mit Nullwerten belegt sind. Anschließend wird das so transformierte Datensymbol einem Modellzweig für die Bildung des Korrektursignals zugeführt. Dieses Datensymbol wird
30 im Modellzweig überabgetastet und mit einem vereinfachten Filter, der die Filtercharakteristik von nachgeschalteten Filtern nachbildet, gefiltert. Anschließend werden alle Spitzenwerte, die oberhalb einer vorgegebenen Schwelle für diese Spitzenwerte liegen, gesucht. Anhand der genauen Position und
35 der Amplituden dieser Spitzenwerte wird im Frequenzbereich ein Korrektursignal aus einer Linearkombination entsprechend gedrehter und skaliertter Zeiger erzeugt. Das so erzeugte Kor-

rektursignal im Frequenzbereich wird mit dem entsprechenden Datensymbol im Sendepfad überlagert, wobei die Überlagerung noch vor der IFFT-Transformation des zu sendenden Datensymbols im Sendepfad erfolgt. Nach der Überlagerung des zu sendenden Datensymbols mit dem Korrektursignal erfolgt die inverse Fourier-Transformation des bereits Crestfaktor reduzierten Datensymbols.

Zwar wird für das erfindungsgemäße Verfahren eine zusätzliche IFFT-Transformation benötigt, jedoch spart man sich dadurch an anderer Stelle einen erheblichen schaltungstechnischen Aufwand.

Alternativ lässt sich das im Frequenzbereich ermittelte Korrektursignal separat mittels einer IFFT-Transformation in den Zeitbereich transformieren und erst dort mit dem bereits transformierten Datensignal überlagern. Die zusätzliche IFFT-Transformation betrifft dann nur die wenigen, für das Korrektursignal reservierten Trägerfrequenzen und lässt sich somit mit reduziertem Aufwand realisieren.

Ein weiterer Vorteil dieses erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass auf Iterationsschritte zur Erzeugung des Korrektursignals verzichtet werden kann, wie dies in den eingangs beschriebenen Verfahren erforderlich ist.

Erfindungsgemäß muss bei der Ermittlung eines Korrektursignals im Frequenzbereich lediglich für die Korrektursignale der ermittelte Vordrehwinkel und gegebenenfalls ein Korrekturskalierungsfaktor bereitgestellt werden und abgespeichert werden, falls durch sogenannte Aliasing-Effekte die Spitze geringfügig von der ursprünglichen Normierung abweicht. Dadurch reduziert sich der für die Abspeicherung der Musterfunktionen (dirac-ähnliche Funktionen) erforderliche Speicherbedarf, wodurch die Schaltung zur Crestfaktor-Reduzierung hinsichtlich des Speicherbedarfes einfacher ausgebildet werden kann.

Da lediglich eine Multiplikation für die wenigen reservierten Träger erfolgt, kann der für die Berechnung des Korrektursignals erforderliche Rechenaufwand hier erheblich verringert werden.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen sowie der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Zeichnung entnehmbar.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der in den Figuren der Zeichnung angegebenen Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigt dabei:

Figur 1 ein Blockschaltbild einer ersten schematischen Darstellung der erfindungsgemäßen Schaltung zur Crestfaktor-Reduzierung eines Mehrträger-Datenübertragungssystems;

Figur 2 ein zweites Ausführungsbeispiel einer Schaltung zur Crestfaktor-Reduzierung;

Figur 3 ein drittes Ausführungsbeispiel einer Schaltung zur Crestfaktor-Reduzierung;

Figur 4 ein viertes, besonders bevorzugtes Ausführungsbeispiel einer Schaltung zur Crestfaktor-Reduzierung.

Figur 1 zeigt anhand eines Blockschaltbildes einen Ausschnitt aus einem Mehrträger-Datenübertragungssystem, welches dazu ausgelegt ist, zumindest einen Spitzenwert innerhalb eines zu sendenden Signals zu reduzieren. Dabei ist lediglich der sendenseitige Übertragungspfad 1 dargestellt, der zwischen einem nicht dargestellten Sender und einer ebenfalls nicht dargestellten Gabelschaltung, die mit der entsprechenden Telefonleitung verbunden ist, angeordnet ist.

Im Sendepfad 1 wird von einem Sender ein zu sendendes Datensignal X_0 einem Block 2 zugeführt. In dem Block 2 erfolgt eine Seriell-Parallel-Wandlung des zu sendenden Datensignals X , eine Bitallokation für die Bitzuordnung zu den einzelnen Trägerfrequenzen, wobei für das erfindungsgemäße Verfahren einzelne Trägerfrequenzen mit Null belegt werden, sowie ein QAM-Mapping für eine Zuordnung der QAM-Punkte. Das Datensignal X beschreibt eine Folge von Blöcken von komplexen Fourierkoeffizienten, aus denen mittels einer IFFT-Transformation das Zeitsignal Z abgeleitet wird, welches entsprechend der Abtastrate und der IFFT-Länge des Systems in Zeitintervalle - den sogenannten Rahmen oder Frames - unterteilt ist. Der Abschnitt des Datensignals X innerhalb eines solchen Rahmens oder Blocks wird nachfolgend als Datensymbol bezeichnet. Ein Datensymbol innerhalb des Rahmens wird im Falle des Mehrträgerübertragungssystems in eine vorgegebene Anzahl von Trägerfrequenzen unterteilt. Im Falle einer ADSL-Datenübertragung besteht ein Datenrahmen für ein Datensymbol aus 512 Trägerfrequenzen. Einige dieser Trägerfrequenzen, typischerweise 10 - 20 Trägerfrequenzen, werden für die Bildung eines Korrektursignals zur Crestfaktor-Reduzierung reserviert. Zu diesem Zwecke werden eben diese reservierten Träger zu Null gesetzt oder zusätzlich oder alternativ zu einem gewissen Anteil mit Zusatzdaten belegt.

Am Ausgang des Blockes 2 ist das zu sendende Datensignal X , welches bereits in eine Vielzahl von Trägerfrequenzen unterteilt ist, abgreifbar. Dieses Datensignal X wird zur Pufferung in eine Pufferspeichereinrichtung 3 eingekoppelt, die der Verzögerung bzw. der Zwischenspeicherung dieser Datensignale X dient und die ausgangsseitig das geeignet verzögerte Datensignal X' einem nachgeschalteten IFFT-Modul 4 zuführt. In dem IFFT-Modul 4 erfolgt mittels inverser Fourier-Transformation eine Modulierung des zugeführten Signals X' . Das so modulierte Signal Z , welches im Falle einer ADSL-Datenübertragung eine Abtastfrequenz von 2,208 MHz und im Falle einer ADSL+-Datenübertragung eine Abtastfrequenz von

4,416 MHz aufweist, wird ausgangsseitig einer nachgeschalteten Filtereinheit oder Filterkette 5 zugeführt. Das von der IFFT-Einheit 4 ausgegebene Datensignal Z wird in dem Filter 5 gefiltert und als Signal Z1 ausgegeben wird, welches, wie
5 nachfolgend noch detailliert erläutert wird, nach wie vor Crestfaktor-reduziert ist.

Zur Erzeugung Crestfaktor reduzierter Datensignale Z, Z1 ist erfindungsgemäß eine Schaltung zur Crestfaktor-Reduzierung
10 vorgesehen. Die Schaltung zur Crestfaktor-Reduzierung 10 ist parallel zu einem Teil des Sendepfades 1 angeordnet und definiert einen Modellpfad 11. Der Modellpfad 11 zweigt an den ausgangsseitigen Datenpfaden 6 des Blocks 2 vom Sendepfad 1 ab, so dass der CF-Schaltung 10 ebenfalls das in einzelne
15 Frequenzdatenträger unterteilte Datensignal X zugeführt wird. Die mit Daten belegten Trägerfrequenzen 6 werden einem weiteren IFFT-Modul 12 zugeführt, welches vorteilhafterweise die gleiche Charakteristik wie das IFFT-Modul 4 aufweist. Im Falle, dass die Trägerfrequenzen 6' nicht mit Zusatzdaten belegt
20 worden sind, werden diese typischerweise mit Null belegt.

Das IFFT-Modul 12 erzeugt ausgangsseitig ein Ausgangssignal Z', welches aufgrund der gleichen Charakteristik möglichst exakt dem von dem IFFT-Modul 4 erzeugten Ausgangssignal Z
25 entspricht. Dieses Signal Z' wird einem Überabtastblock 13 zugeführt, der das Signal Z' L-fach, zum Beispiel 4-fach oder 2-fach, überabtastet. Das L-fach überabgetastete Signal Z'' wird einem nachgeschalteten Modellfilter 14 zugeführt. Bei dem Modellfilter 14 handelt es sich um eine möglichst getreue
30 Abbildung des der CF-Schaltung 3 nachgeschalteten Filters bzw. der Filterkette 5. Damit wird der Charakteristik des Filters 5 und dessen Einfluss auf das zu sendende Signal Z Rechnung getragen. Es kann damit sicher gestellt werden, dass, obwohl durch das Ausgabefilter 5 das Ausgangssignal Z
35 verändert wurde und somit die Möglichkeit einer Erzeugung eines überhöhten Crestfaktors besteht, das gefilterte Ausgangssignal Z1 dennoch keine überhöhten Spitzenwerte aufweist.

Dem Modellfilter 14 ist eine Recheneinheit 15 nachgeschaltet, die aus dem überabgetasteten und gefilterten Signal Z''' die entsprechenden Spitzenwerte, deren Amplitude sowie deren Position innerhalb des Datenrahmens bestimmt. Die Recheneinheit 15 erzeugt ferner einen Skalierungsfaktor sowie einen Phasendrehwinkel, der eine Zeitverschiebung für ein Korrektursignal bestimmt. Der Recheneinheit 15 ist eine Einheit 16 nachgeschaltet, die ausgangsseitig ein Korrektursignal D erzeugt, welches der Crestfaktor-Reduzierung des zu sendenden Datensignals X dient. Hierzu nimmt die Einheit 16 eine Phasendrehung und Skalierung des Korrektursignals D vor, und zwar abhängig von der von der Recheneinheit 15 bestimmten Position und Amplitude des jeweiligen Maximalwerts.

Dieses Korrektursignal D wird mit dem von der Puffereinrichtung 3 geeignet verzögerten Signal X' derart überlagert, dass lediglich die reservierten, nicht mit Daten belegten Trägerfrequenzen im Frequenzbereich mit dem Korrektursignal D belegt werden.

Das verzögerte Signal X' weist somit für die Datenübertragung vorgesehene Trägerfrequenzen 6 sowie nicht für die Datenübertragung vorgesehene Trägerfrequenzen 6' auf, die das Korrektursignal im Frequenzbereich enthalten.

Aus den so erzeugten reservierten Trägerfrequenzen 6' können mittels der IFFT-Modulation im Block 4 dirac-ähnliche Zeitfunktionen erzeugt werden, die eine Reduzierung des Crestfaktors im Ausgangssignal Z, Z1 bewirken.

Vorteilhafterweise ist die Recheneinheit 15 als programmgesteuerte Einheit, insbesondere als Mikroprozessor oder Mikrocontroller, ausgebildet. Dabei kann auch vorgesehen sein, dass einzelne oder mehrere der Einheiten 12, 13, 14, 16 der CF-Schaltung ebenfalls in der Funktionalität des Mikroprozessors oder Mikrocontrollers implementiert ist.

Im Unterschied zu dem Ausführungsbeispiel in Figur 1 zeigt das Ausführungsbeispiel in Figur 2 einen sendeseitigen Ausschnitt eines Mehrträger-Datenübertragungssystems, bei dem die in Figur 1 mit Bezugszeichenliste 6' bezeichneten Trägerfrequenzen mit Nullwerten belegt worden sind. Aus diesem Grunde wurden diese mit Nullwerten belegten Leitungen 6' zwischen den Einheiten 2 und 3 in Figur 2 nicht dargestellt. Infolge dessen kann auf die Addiereinrichtungen 17 auch verzichtet werden, so dass die Korrektursignale D, die von der Einheit zur Phasendrehung und Skalierung 16 erzeugt werden, direkt den entsprechenden Eingängen des IFFT-Moduls 4 zugeführt werden.

Figur 3 zeigt anhand eines Blockschaltbildes ein drittes, besonders bevorzugtes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Schaltung zur Crestfaktor-Reduzierung, bei der die Erzeugung eines Korrektursignals im Frequenzbereich durchgeführt wird.

Im Unterschied zu den Ausführungsbeispielen in den Figuren 1 und 2 wird hier von dem Block 2 das bereits in einzelne Trägerfrequenzen unterteilte Signal X direkt dem IFFT-Modul 4 zugeführt. Das IFFT-Modul 4 transformiert dieses Signal X in den Zeitbereich, so dass am Ausgang des IFFT-Moduls 4 das Sendesignal Z' im Zeitbereich abgreifbar ist. Dieses Sendesignal Z' wird einem nachgeschalteten Verzögerungsglied 7 zugeführt, die eine Verzögerung, die durch die CF-Schaltung 10 verursacht wird, berücksichtigt. Dem Verzögerungsglied 7 ist das Ausgabefilter 5 bzw. eine entsprechende Filterkette 5 nachgeschaltet, die ausgangsseitig das Crestfaktor reduzierte Ausgabesignal Z1 erzeugt.

Erfindungsgemäß ist auch hier eine CF-Schaltung 10 vorgesehen. Im Unterschied zu den Ausführungsbeispielen der Figuren 1 und 2 greift die CF-Schaltung 10 im Ausführungsbeispiel in Figur 3 das von dem IFFT-Modul 4 ausgangsseitig bereitge-

stellte Sendesignal Z' ab. Dieses Signal Z' wird in ähnlicher Weise wie in den Ausführungsbeispielen der Figuren 1 und 2 weiterverarbeitet. Die Einheit 16 nimmt hier zusätzlich eine Quantisierung des von der Recheneinheit 15 erzeugte Ausgangs-
5 signals vor. Die Einheit 16 erzeugt die Korrektursignale D , die auf entsprechenden Leitungen $6'$ einem nachgeschalteten IFFT-Modul 18 zugeführt werden. Vorteilhafterweise kann hier das IFFT-Modul 18 vereinfacht ausgeführt sein, da lediglich Korrektursignale D auf den reservierten Trägerfrequenzen über
10 die Leitungen $6'$ eingekoppelt werden. Das vereinfachte IFFT-Modul 18 erzeugt ausgangsseitig ein Korrektursignal D' , welches in der Addiereinrichtung 8 von dem Ausgangssignal des Verzögerungsgliedes 7 abgezogen wird, so dass das Sendesignal Z gebildet wird. Dieses Sendesignal Z wird in dem Filter 5
15 gefiltert und als Crestfaktor reduziertes Ausgangssignal Z_1 ausgegeben.

Im Unterschied zu dem Ausführungsbeispiel in der Figur 3 sind in dem Ausführungsbeispiel in Figur 4 wiederum die reservierten Trägerfrequenzen auf den Leitungen $6'$ mit Null belegt und
20 infolge dessen nicht dargestellt worden.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Verringerung des Crestfaktors im Frequenzbereich wird anhand des nachfolgend beschriebenen Algorithmus detaillierter beschrieben:
25

Für die Erzeugung dirac-ähnlicher Zeitfunktionen für die Korrektursignale D hat es sich bewährt, aus den verfügbaren Trägerfrequenzen zufällig verteilte Trägerfrequenzen für die Ge-
30 nerierung dieser dirac-ähnlichen Korrekturfunktion auszuwählen. Bei reellwertiger Initialisierung dieser Trägerfrequenzen im Frequenzbereich mit einem konstanten Wert K ergibt sich in der Regel eine brauchbare dirac-ähnliche Zeitfunktion in stets normierter Form. Der konstante Wert K ist dabei so
35 bemessen, dass diese normierte Zeitfunktion einen auf Eins normierten Spitzenwert an der Position des Spitzenwert des entsprechenden Zeitvektors des Korrektursignals aufweist.

Abhängig von der Charakteristik des nachgeschalteten Filters 5 im Signalpfad 1 ist zusätzlich lediglich noch eine Grundskalierung α_0 sowie eine Verschiebung Φ_0 der dirac-ähnlichen Korrekturfunktion zu berücksichtigen, um die Verzögerung und Skalierung der Korrekturfunktion durch die Filterung zu berücksichtigen. Da eine solche Korrekturfunktion nicht explizit in einem Speicher abgelegt werden muss, ergeben sich dadurch zumindest Speichervorteile für die Implementierung bei 10 der Erzeugung einer Korrekturfunktion im Frequenzbereich.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich durch die folgenden Verfahrensschritte aus:

- 15 1. IFFT-Transformation des k-ten Sendesymbols $X(k)$ mit Nullwerten in den reservierten Trägern in den Zeitbereich. Nach der Überabtastung Filterung mit dem vereinfachten Modellfilter 14 des Modellpfads 11:

$$20 \quad X(k) \rightarrow Z'(k) \xrightarrow{\text{Überabtastung, Filterung}} Z'''(k)$$

2. Suche aller Spitzenwerte bzw. Abtastwerte $p_i(k)$ innerhalb des Rahmens des Signals $Z'''(k)$ mit $i = 1, \dots, R$, die oberhalb einer vorgegebenen Schwelle liegen, wobei R die Anzahl der Spitzenwerte bezeichnet.
- 25 3. Zuordnung der äquivalenten Skalierung und Verschiebung der normierten dirac-ähnlichen Korrekturfunktion zu jedem Spitzenwert bzw. Abtastwerte $p_i(k)$:

$$30 \quad p_i(k) \rightarrow \{\alpha_i(k), \phi_i(k)\}$$

4. Erzeugung des Korrektursignals $D(k)$ im Frequenzbereich aus einer Linearkombination gedrehter und skaliert Zeiger entsprechend der ermittelten $\{\alpha_i(k), \phi_i(k)\}$ -Paare,
- 35

$$[D(k)]_n = \begin{cases} k \cdot \sum_{i=1}^R \alpha_i(k) \cdot e^{-j\phi_i(k)n} & \text{wenn } n \in M \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

wobei mit n der Trägerindex über alle Trägerfrequenzen und mit M die Menge der für die Korrekturfunktion vorgesehenen Trägerfrequenzen bezeichnet ist.

5. Modifikation des Korrektursignals $D(k)$ um die Grundverschiebung ϕ_0 und Grundskalierung α_0 :

$$[\overline{D}(k)]_n = \alpha_0 \cdot [D(k)]_n \cdot e^{-j\phi_0 n}$$

6. IFFT-Transformation des Korrektursignals $D(k)$ (mit Nullwerten in den für die Datenübertragung reservierten Trägern) in den Zeitbereich:

$$\overline{D}(k) \bullet - \circ \overline{d}(k)$$

7. Spitzenwertreduktion mittels Subtraktion des Korrektursignals vom Sendesymbol $X'(k)$:

$$Z(k) = Z'(k) - \overline{d}(k)$$

8. Weiterverarbeitung des Crestfaktor reduzierten Sendesymbols $Z(k)$ im eigentlichen Signalpfad 1.

Im Falle der Ausführungsbeispiele der Figuren 1 und 2 erfolgt die IFFT-Transformation des Korrektursignals $D(k)$ nach der Spitzenwertreduktion mittels Subtraktion des Korrektursignals vom Sendesymbol, das heißt hier sind die Verfahrensschritte 6. und 7. miteinander vertauscht.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung, die bereits oben anhand der Figuren 1 und 3 ausgeführt wurden, können auf den reservierten Trägerfrequenzen Zusatzdaten vorgesehen sein. Dabei wird das Korrektursignal auf ein höherstufiges QAM-Raster quantisiert und die Zusatzdaten werden in Form ei-

ner niederwertigen QAM im gleichen Raster um einen virtuellen Koordinatenursprung addiert.

Zu diesem Zweck definiert man innerhalb einer entsprechenden integrierten Schaltung ein höherwertiges QAM-Raster für die Korrektursignale zur Crestfaktor-Reduzierung und nutzt einige Bits in den reservierten Trägerfrequenzen, beispielsweise einige niederwertige Bits (LSB-Bits), für die Datenübertragung sowie den Rest für das Korrektursignal zur Crestfaktor-Reduzierung. Im Modellzweig rechnet man wie gewohnt im Zeitbereich nach der IFFT-Transformation mit Überabtastung und Modellfilterung. Das Daten tragende Teilsignal in dem reservierten Träger kann dabei ohne Weiteres mit berücksichtigt werden. Das Update für den Signalpfad erfolgt jedoch, wie oben beschrieben, im Frequenzbereich. Nach einer letzten Iteration quantisiert man das Korrektursignal auf einen der durch die höherwertigen Bits (MSB-Bits) gegebenen möglichen Signalpunkte. Beispielsweise können von einem QAM-Raster zwei Datenbits (zwei LSB-Bits) für die Zusatzdaten verwendet werden. Es bleiben dann $2^6 = 64$ mögliche Werte für das Korrektursignal quasi als virtueller Koordinatenursprung für eine aufgesetzte 4-fache QAM. Der Vorteil dabei ist, dass eine sofortige Dekodierung im Empfänger möglich ist, indem man die jeweiligen MSB-Bits ignoriert.

Obwohl die vorliegende Erfindung vorstehend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele beschrieben wurde, ist sie darauf nicht beschränkt, sondern auf vielfältige Weise modifizierbar.

Insbesondere ist die Erfindung nicht auf die vorstehenden Datenübertragungssysteme und Verfahren beschränkt, sondern lässt sich zum Zwecke der Crestfaktor-Reduzierung auf sämtliche, auf Multiträger-Datenübertragung basierende Systeme und Verfahren erweitern. Insbesondere sei die Erfindung nicht auf eine ADSL-Datenübertragung beschränkt, sondern lässt sich auf sämtliche xDSL-Datenübertragungen erweitern. Denkbar sind

auch mobile Anwendungen wie DAB (= Digital Audio Broadcasting), DVB-T (= Digital Video Broadcasting-Terrestrial) oder OFDM-basierte WLAN-Anwendungen (Wireless Local Area Network).

5

Es versteht sich, dass die Elemente der Schaltung zur Crestfaktor-Reduzierung sowie die angegebenen IFFT-Module und Filter herkömmliche Hardware-Komponenten sind, die aber auch Softwaremäßig realisiert werden können.

10

Auch sei die Erfindung nicht notwendigerweise auf eine 2-fache oder 4-fache Überabtastung des zu sendenden Datensignals beschränkt. Vielmehr kann auch vorgesehen sein, dass hier keine Überabtastung, sogar eine Unterabtastung oder eine
15 beliebig hohe Überabtastung stattfindet.

20

Insbesondere sei die Erfindung nicht auf die vorstehenden Zahlenangaben beschränkt, sondern lässt sich im Rahmen der Erfindung und des fachmännischen Wissens in beliebiger Weise abändern.

Bezugszeichenliste

	1	Sendepfad
	2	Datenblock
5	3	Puffereinrichtung
	4	(erstes) IFFT-Modul
	5	(Ausgabe-)Filter
	6	für die Datenübertragung reservierte Trä- ger/Leitungen
10	6'	für die Korrekturfunktion reservierte Trä- ger/Leitungen
	7	Verzögerungsglied
	8	Addiereinrichtung
	10	Schaltung zur Crestfaktor-Reduzierung, CF-Schaltung
15	11	Modellpfad
	12	(zweites) IFFT-Modul
	13	Block zur Überabtastung
	14	Modellfilter
	15	Recheneinheit
20	16	Einheit zur Phasendrehung und Skalierung der Kor- rekturfunktion
	17	Addiereinrichtung
	18	Block zur Quantisierung
	X	Eingangssignal
25	X	in Trägerfrequenzen unterteiltes Eingangssignal
	X'	verzögertes, in Trägerfrequenzen unterteiltes Ein- gangssignal
	Z	(IFFT modulierte) zu sendendes Signal/Datensymbol
	Z1	Crestfaktor reduziertes zu sendendes Sig- nal/Datensymbol
30	Z'	IFFT-modulierte Signal/Datensymbol
	Z''	überabgetastetes Signal/Datensymbol
	Z'''	überabgetastetes, gefiltertes Signal/Datensymbol
	D	Korrektursignal
35	D'	Korrektursignal

Patentansprüche

1. Verfahren zur Schaltung zur Crestfaktor-Reduzierung eines zu sendenden Datensymbols in einem Mehrträger-Datenübertragungssystem; bei dem das zu sendende Datensymbol eine Funktion einer Vielzahl von innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalls vorgesehener Signale ist und jedes dieser Signale einem Träger zugeordnet ist, wobei jeder Träger jeweils mindestens eine Frequenz aus einem Sendedatenspektrum belegt, wobei zu-
10 mindest ein Träger reserviert ist, der nicht oder zumindest nicht im vollen Umfang für die Datenübertragung vorgesehen ist, mit den Verfahrensschritten:
- (a) IFFT-Transformation eines zu sendenden Datensymbols (X);
 - (b) Suche aller Spitzenwerte innerhalb eines Rahmens des
15 IFFT-transformierten Datensymbols (Z'), die betragsmäßig oberhalb einer vorgegebenen Schwelle liegen;
 - (c) Bereitstellen einer Musterkorrekturfunktion;
 - (d) Zuordnung einer Skalierung und Phasendrehung zu der Musterkorrekturfunktion entsprechend der Amplitude und Position der gefundenen Spitzenwerte;
 - (e) Erzeugung eines Korrektursignals (D) im Frequenzbereich aus einer Linearkombination gedrehter und skaliertener Zeiger entsprechend der ermittelten Skalierung und Position;
 - (f) Modifizieren, insbesondere Spitzenwertreduktion des zu
25 sendenden Datensymbols (X) durch Subtraktion des Korrektursignals (D) und
 - (g) IFFT-Transformation des Spitzenwert modifizierten Datensymbols (X') in den Zeitbereich.
- 30 2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass nach dem Verfahrensschritt (b) eine Überabtastung und/oder eine Filterung des IFFT-transformierten Datensymbols (Z) vorgenommen wird.
- 35 3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

dass die Modifikation des zu sendenden Datensymbols (X) erst im Zeitbereich erfolgt und somit der Verfahrensschritt (g) vor dem Verfahrensschritt (f) vorgenommen wird.

- 5 4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass als Musterkorrekturfunktion eine dirac-ähnliche Funktion
verwendet wird.
- 10 5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass zumindest ein reservierter Träger des zu sendenden Da-
tensymbols (X) mit Nullwerten belegt werden.
- 15 6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass zumindestens ein reservierter Träger mit Zusatzdaten be-
legt wird.
- 20 7. Schaltung zur Crestfaktor-Reduzierung (10), insbesondere
zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorstehenden
Ansprüche, die sendeseitig in einem Mehrträger-
Datenübertragungssystem angeordnet ist,
(A) mit einem Sendepfad (1) mit einem zu sendenden Datensig-
25 nal (X);
(B) mit einem parallel zu einem Abschnitt des Sendepfades
(1) angeordneten Modellpfad (11),
- mit einem ersten IFFT-Modul (12) zum Transformieren des
zu sendenden Datensymbols (X) in den Zeitbereich,
30 - mit einer ersten Einheit (15) zur Ermittlung mindestens
eines Spitzenwertes innerhalb eines vorgegebenen Zeitin-
tervalls des transformierten Datensignals (Z'),
- mit einer zweiten Einheit (16) zur Bildung eines Korrek-
tursignals (D) im Frequenzbereich aus einer Linearkombi-
35 nation gedrehter und skaliert Zeiger entsprechend der
ermittelten Skalierung und Position der Spitzenwerte;

- (C) mit einer Einrichtung (17), die mit Ausgängen des Modellpfads (11) und des Sendepfads (1) verbunden ist und die das Korrektursignal (D) mit dem zu sendenden Datensymbol (X) im Sendepfad (1) überlagert;
- 5 (D) mit einem zweiten IFFT-Modul (4, 17) zum Transformieren des durch das Korrektursignal (D) modifizierten Datensymbols (X') oder lediglich des Korrektursignals (D) in den Zeitbereich.
10. 8. Schaltung nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass im Modellpfad (11) eine dritte Einheit (13) zum Überab-
tasten des zu sendenden Datensymbols (X) vorgesehen ist.
- 15 9. Schaltung nach einem der Ansprüche 7 - 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass im Modellpfad (11) ein Filter (14), insbesondere ein
nicht-rekursives Modellfilter (14), insbesondere ein FIR-
Filter (14), vorgesehen ist, welches die Charakteristik eines
20 der Schaltung zur Crestfaktor-Reduzierung (10) nachgeschalte-
ten Filters bzw. Filterkette (5) aufweist.
10. Schaltung nach einem der Ansprüche 7 - 9,
dadurch gekennzeichnet,
25 dass eine programmgesteuerte Einheit (13, 14, 15, 16), insbe-
sondere ein Mikroprozessor oder ein Mikrocontroller, vorgese-
hen ist, in dem die Funktionalität der ersten Einheit (15)
und/oder der zweiten Einheit (16) und/oder des Filters (14)
und/oder der dritten Einheit (13) implementiert ist.
- 30 11. Schaltung nach einem der Ansprüche 7 - 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass das zweite IFFT-Modul (17) gegenüber dem ersten IFFT-
Modul (12) vereinfacht ausgebildet ist, wobei dem zweiten
35 IFFT-Modul (17) lediglich die für die Crestfaktor-Reduzierung
reservierten Trägerfrequenzen zuführbar sind und dem ersten

IFFT-Modul (4) alle Träger und/oder lediglich die für die Datenübertragung reservierten Träger zuführbar sind.

FIG 1

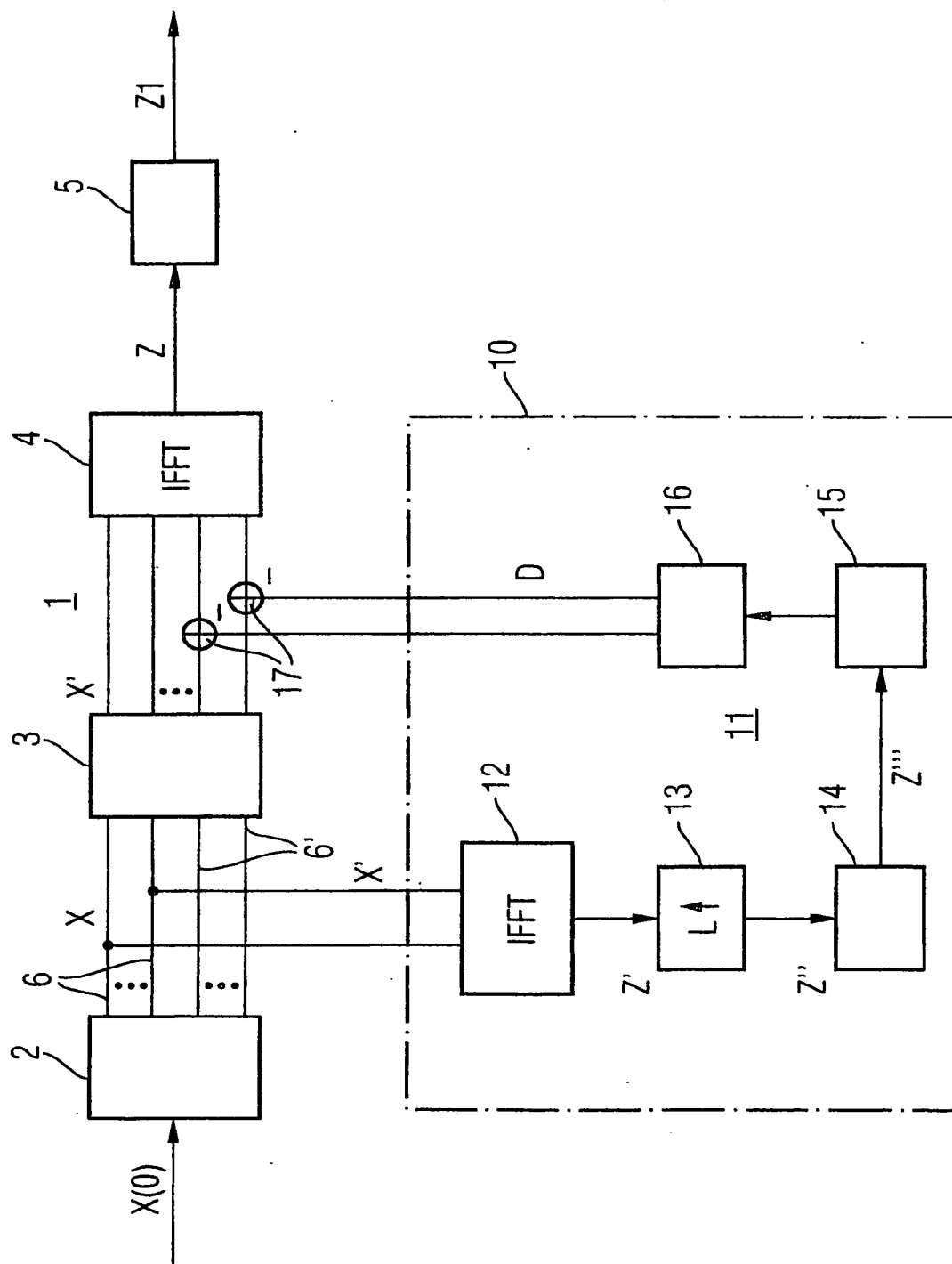


FIG 2

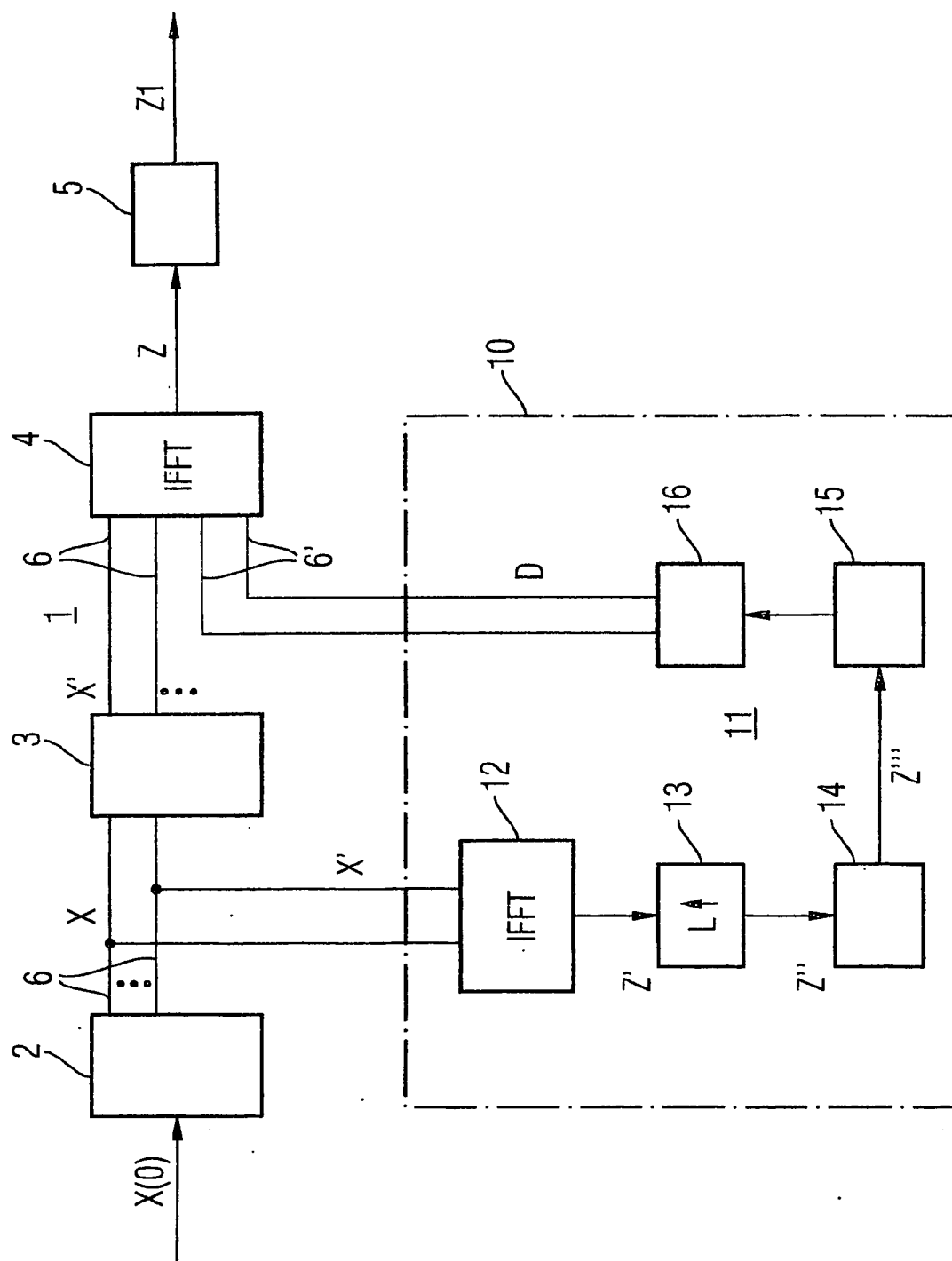


FIG 3

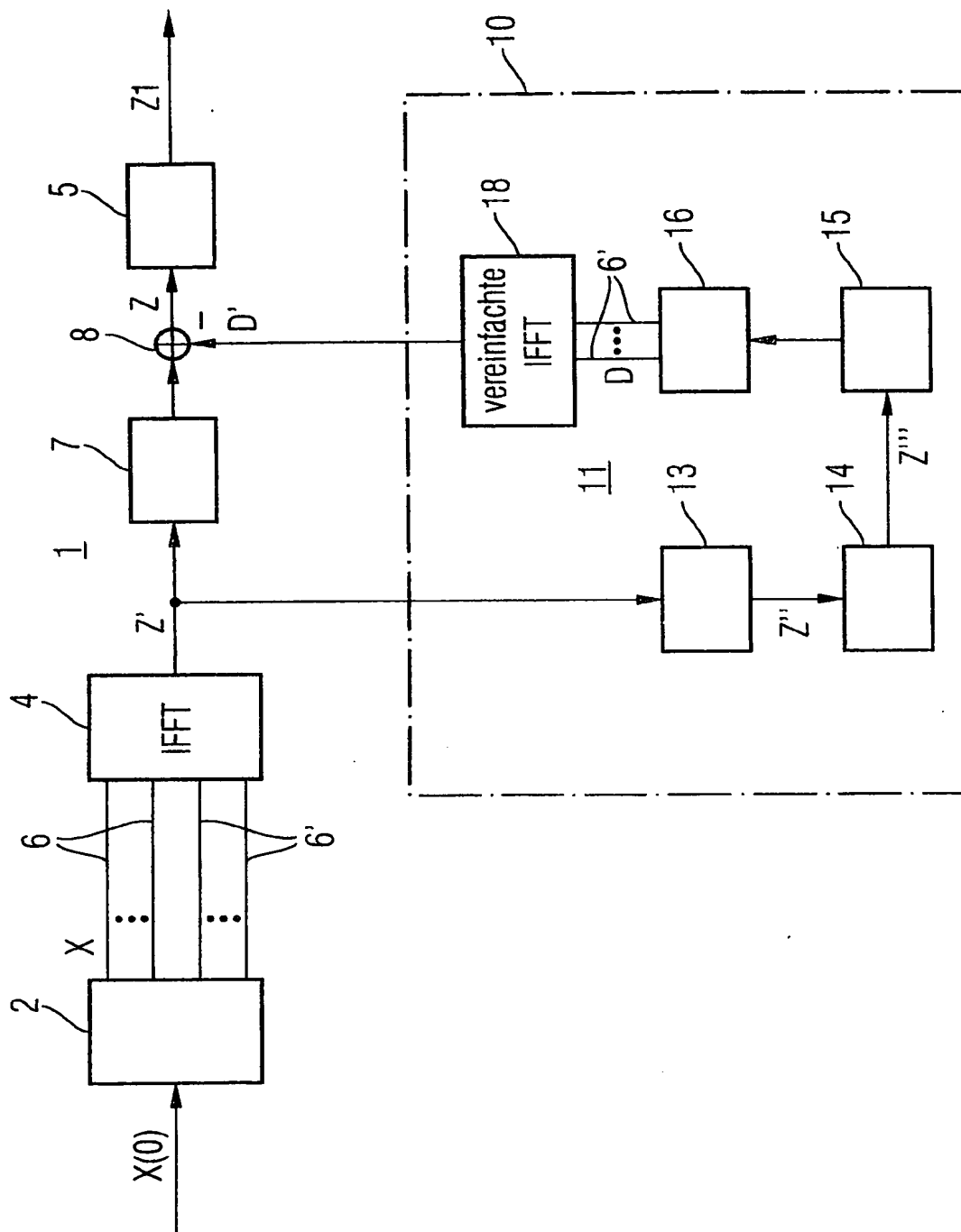
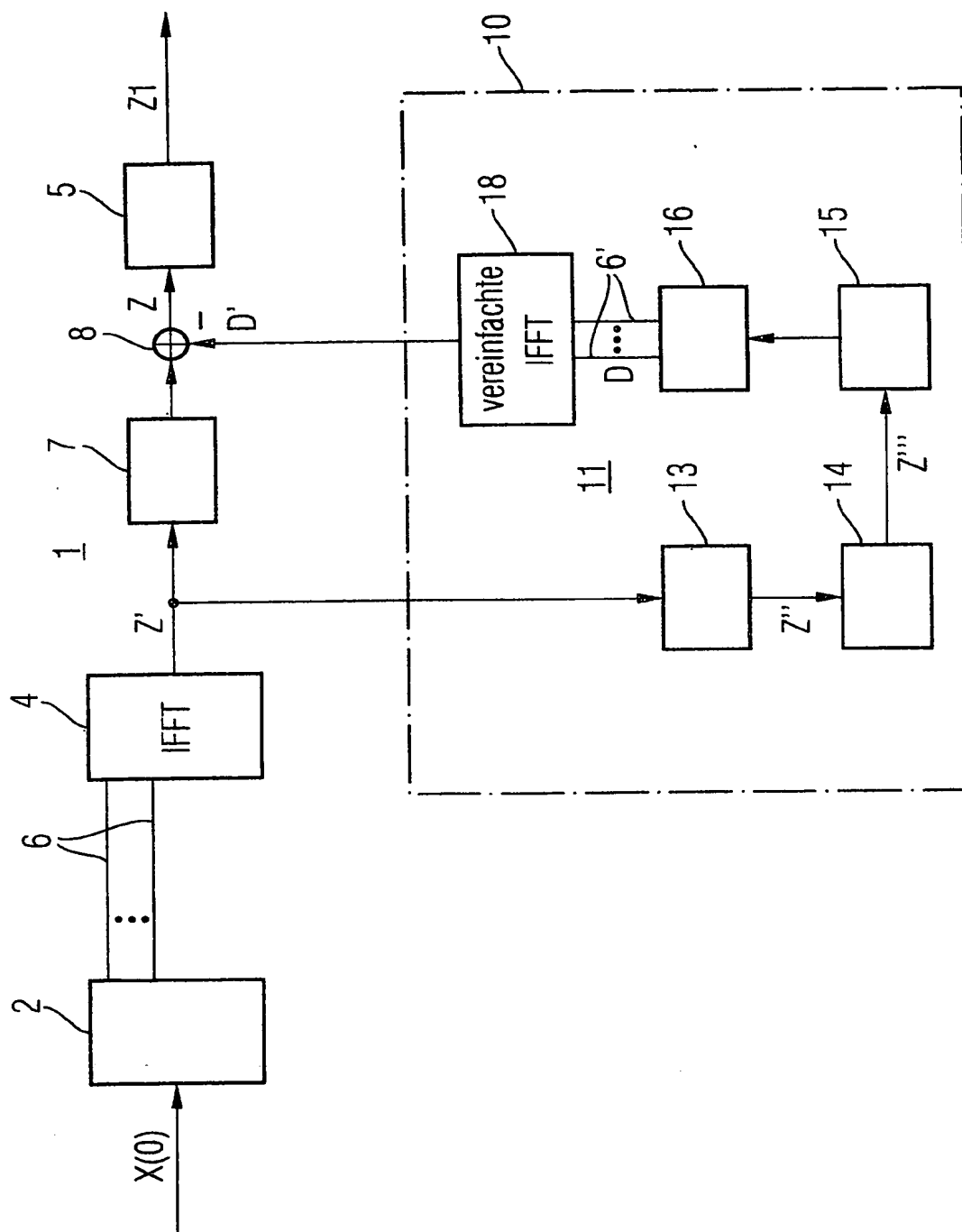


FIG 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/005905

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H04L27/26

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 175 551 B1 (AWATER GEERT ARNOUT ET AL) 16 January 2001 (2001-01-16) column 4, line 51 - column 5, line 9	1-11
A	US 5 610 908 A (MADDOCKS MARK CHARLES D ET AL) 11 March 1997 (1997-03-11) column 6, line 54 - column 7, line 5	1-11
A	EP 1 198 088 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 17 April 2002 (2002-04-17) paragraph '0044' - paragraph '0053'	1-11

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

1 October 2004

Date of mailing of the international search report

08/10/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Orozco Roura, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/005905

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6175551	B1	16-01-2001	NONE	
US 5610908	A	11-03-1997	AU 4975493 A	29-03-1994
			DE 69322785 D1	04-02-1999
			DE 69322785 T2	20-05-1999
			EP 0658295 A1	21-06-1995
			WO 9406231 A1	17-03-1994
			GB 2270819 A ,B	23-03-1994
			JP 8501195 T	06-02-1996
EP 1198088	A	17-04-2002	JP 3461157 B2	27-10-2003
			JP 2001339361 A	07-12-2001
			AU 4280401 A	11-12-2001
			EP 1198088 A1	17-04-2002
			CN 1381112 T	20-11-2002
			WO 0193478 A1	06-12-2001
			US 2002105947 A1	08-08-2002

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/005905

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 H04L27/26

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H04L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 6 175 551 B1 (AWATER GEERT ARNOUT ET AL) 16. Januar 2001 (2001-01-16) Spalte 4, Zeile 51 - Spalte 5, Zeile 9	1-11
A	US 5 610 908 A (MADDOCKS MARK CHARLES D ET AL) 11. März 1997 (1997-03-11) Spalte 6, Zeile 54 - Spalte 7, Zeile 5	1-11
A	EP 1 198 088 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 17. April 2002 (2002-04-17) Absatz '0044! - Absatz '0053!	1-11

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

1. Oktober 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

08/10/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Orozco Roura, C

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/005905

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 6175551	B1	16-01-2001	KEINE		
US 5610908	A	11-03-1997	AU	4975493 A	29-03-1994
			DE	69322785 D1	04-02-1999
			DE	69322785 T2	20-05-1999
			EP	0658295 A1	21-06-1995
			WO	9406231 A1	17-03-1994
			GB	2270819 A ,B	23-03-1994
			JP	8501195 T	06-02-1996
EP 1198088	A	17-04-2002	JP	3461157 B2	27-10-2003
			JP	2001339361 A	07-12-2001
			AU	4280401 A	11-12-2001
			EP	1198088 A1	17-04-2002
			CN	1381112 T	20-11-2002
			WO	0193478 A1	06-12-2001
			US	2002105947 A1	08-08-2002